

杨平,陈锐,李杰,等.不同灌溉下限与营养液浓度对基质栽培番茄的影响[J].江苏农业科学,2017,45(5):126-129.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.035

# 不同灌溉下限与营养液浓度对基质栽培番茄的影响

杨平,陈锐,李杰,费聪,吴杨焱,郑重

(石河子大学农学院,新疆石河子 832003)

**摘要:**通过番茄基质栽培试验,研究营养液浓度和灌溉下限对番茄光合、品质、产量及水分利用效率的影响。结果表明,相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上升,番茄叶片的净光合速率、蒸腾速率、叶片气孔导度、果实可溶性固形物含量、单株产量在一定范围内呈明显的上升趋势,叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度、果实番茄红素含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量、硝酸盐含量、灌溉水分利用效率呈下降趋势;相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,番茄叶片净光合速率、果实硝酸盐含量、单株产量、灌溉水分利用效率多呈增加趋势,叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度基本呈减小趋势,果实番茄红素含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量多呈先增加后减小趋势; $\text{KNO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  使用浓度分别为 318、127、401、288 mg/L、灌溉下限为田间持水量的 70% 为最佳营养液浓度和灌溉下限组合,此时番茄单株产量和水分利用效率分别为 2.198 kg、26.32 kg/m<sup>3</sup>。

**关键词:**营养液;灌溉下限;基质栽培;产量;品质;水分利用效率;番茄

**中图分类号:** S641.207;S641.206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0126-03

番茄是世界上种植面积最大、最受欢迎的蔬菜作物之一<sup>[1]</sup>,含有丰富的矿物质、维生素、番茄红素、有机酸、必需氨基酸及抗氧化剂等,可以降低人类一些疾病的发生概率<sup>[2]</sup>。水和肥是番茄生长中不可缺少的 2 个因子,直接影响着番茄的产量和品质。番茄是一种对水分极其敏感的作物,水分过高或过低对产量及品质都会产生影响<sup>[3]</sup>。有研究指出,番茄生长中调亏灌溉有利于增加产量,适当的亏缺灌溉可增加果实中番茄红素和维生素 C 含量,而水分严重亏缺将限制植株生长,使产量降低<sup>[4]</sup>;在不同生育时期,番茄土壤含水量过高会对作物产量和品质产生不同程度的影响<sup>[5]</sup>,而灌溉量过大不仅影响番茄的产量和品质,也会导致低的水分利用效率。施肥有助于增加产量,但施肥量过大对作物增产不明显,甚至出现产量下降的趋势。滴灌施肥可以减少水分和肥料损失,提高作物的产量和品质,同时可以提高作物的水肥利用效率<sup>[6]</sup>。

新疆维吾尔自治区是水资源短缺的地区,冬季漫长而寒冷,而智能温室作为该地新型农业产业,是解决当地冬季蔬菜市场需求、增加农民收入的主要途径。番茄是重要的温室栽培蔬菜之一,合理的灌水和施肥是提高番茄品质、增加水分利用效率、保持番茄产量的重要途径,对农业可持续发展具有至关重要的意义<sup>[1]</sup>。本试验研究不同营养液浓度和灌溉下限互作对新疆地区温室基质栽培番茄光合特性、品质、产量及水分利用效率的影响,以期新疆地区番茄温室基质栽培提供科学理论和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与材料

试验于 2015 年 2—7 月在新疆生产建设兵团 104 团农牧场(42°46' N、86°37' E)智能温室内进行,温室长度、跨度、高度分别为 65、9、6.5 m。供试番茄品种为中研 100;栽培基质由草炭、珍珠岩、蛭石按体积比 2:1:1 混配而成,基本理化性质:密度 0.179 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度 89.4%,田间最大持水量 63.1%,pH 值 6.86,电导率 1.71 dS/m,有机质含量 84.6 g/kg,速效氮、速效磷、速效钾、可溶性钙、可溶性镁含量分别为 2 064.82、199.14、2 299.14、1 001.25、175.22 mg/kg;基质袋为无土栽培专用袋,规格为 90 cm×30 cm,材质为内黑外白聚乙烯(PE)薄膜,每个栽培袋装复合基质 5 kg;温室水肥一体化智能管理设备主要由显示屏、水泵、肥料桶、土壤温湿度传感器、空气温湿度传感器、二氧化碳浓度及光照度传感器等组成。

### 1.2 试验设计

设置灌溉下限和营养液浓度 2 个处理因素。灌溉下限设 3 个水平:低灌溉下限(W1),为田间持水量的 60%;中灌溉下限(W2),为田间持水量的 70%;高灌溉下限(W3),为田间持水量的 80%。灌溉上限均为田间持水量的 95%。营养液设低浓度(F1)、中浓度(F2)、高浓度(F3)3 个水平,各营养元素使用浓度详见表 1,其中中浓度(F2)是根据每生产 1 t 番茄需氮、磷、钾、钙、镁分别为 4.0、0.786、3.983、2.366、0.947 kg,并按目标产量每株 3.0 kg 计算出氮、磷、钾、钙、镁的需要量,在此基础上,根据番茄目标产量需肥量、有机基质中速效养分含量来确定补充量,并根据预试验每株番茄灌溉量以 80 L 为最优灌溉量来确定营养液浓度<sup>[7]</sup>。处理 F1、F3 为 F2 浓度分别向上、向下浮动 25%。微量元素采用 Arnon 营养液配方:EDTA-2NaFe 14.5 mg/L、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 1.43 mg/L、MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 0.81 mg/L、ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.11 mg/L、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O

收稿日期:2016-02-20

基金项目:新疆电子信息发展专项资金(编号:XJDZXXZX200502)。

作者简介:杨平(1988—),男,安徽安庆人,硕士研究生,从事精准农业研究。E-mail:13941025701@163.com。

通信作者:郑重,博士,教授,研究方向为数字农业与精准农业。E-mail:zhenglx@163.com。

0.04 mg/L、 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.01 mg/L。

试验在同一个温室大棚内进行,采用 2 因素完全随机设计,共计 9 个处理,代码分别为 W1F1、W1F2、W1F3、W2F1、W2F2、W2F3、W3F1、W3F2、W3F3,每个处理重复 3 次,共计 27 个小区,每个试验小区长×宽为 7.2 m×1.65 m,面积小计为 11.88 m<sup>2</sup>。2015 年 2 月 28 日开始定植 4 叶 1 心番茄幼苗,每个基质袋 3 株,株距为 30 cm,行距为 80、30、80 cm 的宽窄行种植模式;5 月 1 日打顶,留 5 穗果,利用水肥一体化系统进行水肥管理,每株番茄插 1 个箭式滴头,除水分和肥料外,其他管理措施同常规栽培。番茄生长发育具有明显的阶段性,根据番茄生育特点将其全生育期划分为苗期(2015 - 02 - 28 至 2015 - 03 - 21)、开花坐果期(2015 - 03 - 22 至 2015 - 04 - 06)、果实膨大期(2015 - 04 - 07 至 2015 - 04 - 28)、采收期(2015 - 04 - 29 至 2015 - 07 - 03)共 4 个阶段。

表 1 营养液各元素使用浓度

营养液	$\text{KNO}_3$ (mg/L)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (mg/L)	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (mg/L)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mg/L)
F1	239	95	301	216
F2	318	127	401	288
F3	398	159	501	360

1.3 测定指标和方法

1.3.1 光合参数 2015 年 6 月 3 日 11:00—14:00,每小区随机选择 5 株番茄,选用 Li - 6400 型光合仪测定生长点往下数第 6 张功能叶的光合参数,光照度设为 800 mol/(m<sup>2</sup>·s)。光合参数主要有叶片的净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、叶片气孔导度( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )。

1.3.2 产量 每小区随机选择 10 株番茄进行标记,每次收获时分别称质量,计算单株产量。

1.3.3 品质 番茄成熟期,选择大小色泽一致的第 2 穗番茄果,根据李合生的方法<sup>[8]</sup>测定其品质,主要包括可溶性糖、番茄红素、维生素 C、硝酸盐、可溶性固形物含量。

1.4 水分利用效率的计算及灌溉量测定

水分利用效率 WUE 计算公式为  $WUE = Y/I$ 。式中:WUE 为水分利用效率,kg/m<sup>3</sup>;Y 为产量,kg;I 为灌溉量,m<sup>3</sup>。小区灌溉量通过安装在各个小区的水表获得。

1.5 数据处理

数据采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析,用 Excel 2003 软件进行统计,用 Word 2003 软件进行作表。

2 结果与分析

2.1 营养液浓度和灌溉下限对番茄光合特性的影响

由表 2 可见,相同营养液浓度处理下,随灌溉下限的上升,番茄叶片的净光合速率、蒸腾速率、叶片气孔导度多呈明显的上升趋势,而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度随灌溉下限的上升呈逐渐降低趋势;相同灌溉下限条件下,番茄净光合速率随营养液浓度的增加而增加,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度大致随营养液浓度的增加而降低,蒸腾速率、气孔导度多呈不致变化趋势。

2.2 营养液浓度和灌溉下限对番茄品质的影响

2.2.1 可溶性糖和可溶性固形物 番茄的口感主要通过可溶性固形物和可溶性糖来体现,是番茄品质的重要指标。由表 3 可见,相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,可溶

表 2 不同营养液浓度和灌溉下限对番茄光合参数的影响

处理	$P_n$ [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	$T_r$ [mmol/ (m <sup>2</sup> ·s)]	$G_s$ [mol/ (m <sup>2</sup> ·s)]	$C_i$ ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )
F1W1	15.47f	7.52g	0.51d	323ab
F1W2	18.09d	9.38bc	0.69c	319bc
F1W3	18.92c	9.53ab	0.72b	312d
F2W1	15.98ef	7.73f	0.53d	329a
F2W2	19.87b	9.26c	0.73b	315cd
F2W3	21.00a	9.69a	0.66a	307e
F3W1	16.10e	7.93e	0.48e	303e
F3W2	21.37a	9.07d	0.68c	299e
F3W3	21.09a	9.02d	0.71bc	289f

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下表同。

性糖、可溶性固形物含量多呈先增加后降低的趋势;相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上升,可溶性糖含量呈下降趋势,而可溶性固形物含量呈上升趋势;经显著性检验可知,营养液浓度、灌溉下限及其互作对番茄果实可溶性糖、可溶性固形物含量的影响达到极显著水平。

表 3 不同营养液浓度和灌溉下限对番茄品质的影响

处理	可溶性糖 含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/kg)	硝酸盐 含量 (mg/kg)	可溶性固 形物 含量(%)	番茄红素 含量 (mg/g)
F1W1	39.20b	231.0d	796g	4.47e	45.40a
F1W2	30.57e	208.3e	765h	4.51e	41.07bc
F1W3	29.01e	187.7f	702i	4.89c	34.03d
F2W1	43.61a	356.0a	1 051d	4.63d	47.03a
F2W2	36.60c	311.3b	967e	5.08ab	42.03b
F2W3	29.07e	270.4c	887f	5.17a	39.07c
F3W1	32.90d	280.7c	1 215a	4.71d	40.07bc
F3W2	28.01ef	241.7d	1 153b	4.98bc	35.01d
F3W3	26.93f	201.3ef	1 109c	5.01b	33.13d
F	**	**	**	**	**
W	**	**	**	**	**
F×W	**	ns	*	**	*

注:“\*”“\*\*”分别表示营养液浓度、灌溉下限及其互作对测定因子的影响达到显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )水平。ns 表示无显著影响。下表同。

2.2.2 番茄红素和维生素 C 番茄红素、维生素 C 也是番茄重要的品质指标。由表 3 可见,相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上升,番茄红素、维生素 C 含量呈下降趋势;相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,番茄红素、维生素 C 含量呈先增大后减小的变化趋势,即  $F2 > F1 > F3$ ;经显著性检验可知,营养液浓度、灌溉下限对番茄果实番茄红素、维生素 C 含量的影响达到极显著水平,营养液浓度和灌溉下限互作对果实番茄红素含量的影响达到显著水平,而对维生素 C 含量的影响没有达到显著水平。

2.2.3 硝酸盐 由表 3 可见,各处理间硝酸盐含量差异显著,最大值出现在处理 F3W1,为 1 215 mg/kg,最小值出现在处理 F1W3,为 702 mg/kg;同一营养液浓度下,硝酸盐含量表现为  $W1 > W2 > W3$ ,即随着灌溉下限的上升,硝酸盐含量呈

下降趋势;相同灌溉下限条件下,硝酸盐含量变化规律为 F3 > F2 > F1,即随营养液浓度的增加,硝酸盐含量呈上升趋势;经显著性检验可知,营养液浓度、灌溉下限对番茄果实硝酸盐含量的影响达到极显著水平,营养液浓度和灌溉下限互作对果实硝酸盐含量的影响仅达到显著水平。

2.3 营养液浓度和灌溉下限对番茄产量和水分利用效率的影响

2.3.1 产量 由表 4 可见,处理 F3W2 的单株产量相对最高,为 2.314 kg,其次为处理 F3W3、F2W3、F2W2,分别为 2.228、2.218、2.198 kg,且这 4 个处理的单株产量差异不显著;相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上升,单株产量呈增加趋势;相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,单株产量多呈增加趋势,且高、中浓度营养液水平的单株产量差异不显著,与低浓度的有显著性差异;经显著性检验可知,营养液浓度、灌溉下限对番茄单株产量的影响达到极显著水平,而营养液浓度和灌溉下限互作对番茄单株产量的影响不显著。

2.3.2 水分利用效率 由表 4 可见,各处理间番茄灌溉水分利用效率差异显著;相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上升,番茄灌溉水分利用效率呈下降趋势,即:W1 > W2 > W3;相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,番茄灌溉水分利用效率多呈增加趋势;经显著性检验可知,营养液浓度、灌溉下限对番茄水分利用效率的影响达到极显著水平,而营养液浓度和灌溉下限互作对番茄水分利用效率的影响不显著。

表 4 不同营养液浓度和灌溉下限对番茄产量及水分利用效率的影响

处理	单株产量 (kg)	灌溉量 (L)	水分利用效率 (kg/m <sup>3</sup> )
F1W1	1.696e	57.3	26.11e
F1W2	1.726df	82.3	20.97g
F1W3	1.838cd	105.3	17.45h
F2W1	1.846cd	61.4	30.07b
F2W2	2.198a	83.5	26.32d
F2W3	2.218a	101.7	21.81f
F3W1	1.958bc	63.7	30.74a
F3W2	2.314a	84.9	27.26c
F3W3	2.228a	102.2	21.80f
F	**		**
W	**		**
F × W	ns		ns

3 结论与讨论

光合作用是作物生长的基础,而水肥是影响光合作用的 2 个重要因子<sup>[9]</sup>,主要通过对光合作用相关酶、叶片色素及气孔或非气孔因素的控制来影响光合作用<sup>[10-11]</sup>。本研究结果显示,营养液浓度和灌溉下限对作物光合作用的影响较为明显,同一营养液浓度下,光合速率、蒸腾速率随灌溉下限的上升多呈明显的增加趋势;相同灌溉下限条件下,番茄净光合速率随营养液浓度的增加而增加,这与王英宇等研究结论<sup>[12-13]</sup>相似,这可能是在同一灌溉下限条件下,增加营养液浓度可促进叶片叶绿素含量的增加,从而促进了叶片的光合作用。合适的水肥条件有利于改善基质的生态环境,增强番茄光合作用,利于番茄生长<sup>[14]</sup>。

研究结果表明,相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上

升,番茄红素、维生素 C、可溶性糖含量呈下降趋势;相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,番茄红素、维生素 C、可溶性糖、可溶性固形物含量多呈先增大后降低的变化趋势,这与刘炼红等的研究结果<sup>[15-16]</sup>基本一致。相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,番茄硝酸盐含量呈上升趋势,这与张国红等的研究结果<sup>[17]</sup>一致,可能是由于高浓度营养液增加了基质中氮素供给水平,从而引起硝酸根离子含量的增加。

前人大量研究表明,低肥料施用量满足不了作物的生长需要,不利于作物生长而影响产量,而肥料使用量过大,虽然在一定程度上能够增加产量,但肥料利用率不高,导致肥料浪费;水分是作物生长的物质基础,土壤含水量过高或过低都不利于作物生长<sup>[18]</sup>。本研究表明,相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上升,番茄单株产量呈增加趋势,相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,单株产量多呈增加趋势,且高、中浓度营养液水平的单株产量差异不显著,这与王殿武等的研究结果<sup>[19]</sup>相符。而林多等研究认为,营养液浓度较高,可促使植株营养生长过旺,生殖生长受到抑制,从而产量降低<sup>[20]</sup>,这可能与本研究营养液浓度还未超出使用上限有关。

本研究还表明,相同灌溉下限条件下,随营养液浓度的增加,番茄灌溉水分利用效率多呈增加趋势,提高营养液浓度具有明显的提高水分利用效率的作用,这与杜建军等结论<sup>[21]</sup>一致。在相同营养液浓度条件下,随灌溉下限的上升,番茄灌溉水分利用效率呈下降趋势,这与王峰等研究结论<sup>[22]</sup>较为一致,而与 Li 等研究结果<sup>[23]</sup>恰恰相反,可能是由于试验对象不一样所致,具体原因有待进一步探讨。

番茄的光合参数、品质、产量及水肥利用效率受营养液浓度、灌溉下限的影响十分明显,且变化规律有所不同,故不能单纯从某一指标来确定营养液浓度和灌溉下限的最优组合。全面考虑番茄各项指标,提出新疆地区番茄基质栽培中,营养液浓度和灌溉下限较好的控制条件为 KNO<sub>3</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O、MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 使用浓度分别为 318、127、401、288 mg/L,灌溉下限为田间持水量的 70%,此时番茄单株产量、水分利用效率分别为 2.198 kg、26.32 kg/m<sup>3</sup>。

参考文献:

[1] Hebbar S S, Ramachandrappa B K, Nanjappa H V, et al. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. European Journal of Agronomy, 2004, 21(1): 117-127.

[2] Massot C, Génard M, Stevens R, et al. Fluctuations in sugar content are not determinant in explaining variations in vitamin C in tomato fruit [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2010, 48(9): 751-757.

[3] Yang L J, Zhao F Y, Chang Q, et al. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes [J]. Agricultural Water Management, 2015(160): 98-105.

[4] Favati F, Lovelli S, Galgano F, et al. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 122(4): 562-571.

[5] Kusun H, Turhan A, Demir A O. The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment [J]. Agricultural Water Management, 2014, 133(2): 92-103.

[6] Zhu J H, Li X L, Christie P, et al. Environmental implications of low

齐梅,周蔚,王斌,等.不同熟期基因型菜用大豆品种对播期的农艺性状反应[J].江苏农业科学,2017,45(5):129-132.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.036

# 不同熟期基因型菜用大豆品种对播期的农艺性状反应

齐梅,周蔚,王斌,申爱华,邵春荣

(江苏省农业科学院六合动物科学基地,江苏南京 210014)

**摘要:**2013—2014 年,在江苏省南京市六合区江苏省农业科学院试验基地,采用分期播种法,研究早菜用大豆苏早 1 号和苏奎 1 号 2 个品种的生育期和产量变化情况。结果表明,不同播期早菜用大豆,其全生育期具有极显著差异,3 月初播种的早菜用大豆,全生育期为 89.7 d,7 月播种的为 63.2~63.4 d,这种巨大的差异,主要来源于播种到出苗的时间差异,其次是出苗到开花的时间差异。早菜用大豆从 3 月底到 4 月底播种,产量均处于高水平层次;5 月初后播种,鲜豆荚产量明显下降,6 月底到 7 月初是早菜用大豆最不宜播种的时段,7 月底后早菜用大豆中的部分迟熟品种可以进行秋播,有一定产量,但早菜用大豆中的早熟品种很不适宜在该时段种植。

**关键词:**春播大豆;早菜用大豆;播期反应;生育期;产量

**中图分类号:** S565.104 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0129-04

菜用大豆是荚大粒大、适于在鼓粒中后期采摘鲜豆荚作为蔬菜食用的一类大豆的总称。在我国长江中下游及南方大豆产区,习惯将适合春季播种的菜用大豆称为早菜用大豆,适合在夏季播种采摘鲜豆荚上市的菜用大豆称为晚菜用大豆。在上述大豆产区,早菜用大豆从 2 月中旬就可以播种(设施栽培),一直可以播种到 8 月初,但是随着温度不断升高,早菜用大豆的全生育期不断缩短,生物产量和经济产量不断下降,一般 5 月中旬以后播种该类型品种,已经没有实用和经济

意义。晚菜用大豆适于 6 月中旬以后播种,过早播种导致短日照条件得不到满足,势必造成营养生长期过长、营养生长和生殖生长严重不协调、生物产量高、经济产量低、产品质量差等情况<sup>[1]</sup>。但是,随着近几年早菜用大豆新品种的不断推出,早菜用大豆品种类型的不断增加,笔者发现,部分全生育期较长的早菜用大豆对高温的适应性不断增强,对推迟播种引起的产量和品质下降现象逐渐减轻。为探讨不同早菜用大豆品种对播期的反应,本试验研究了 2013—2014 年不同全生育期早菜用大豆品种对播期的反应。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

早菜用大豆新品种苏早 1 号,由江苏省农业科学院蔬菜研究所于 2008 年育成,该品种属于早菜用大豆中的早熟品

收稿日期:2016-01-07

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(13)3089]。

作者简介:齐梅(1967—),女,江苏南京人,助理研究员,主要从事规模种养循环技术应用研究。E-mail: qimei1128@126.com。

通信作者:周蔚,副研究员,主要从事规模种养循环技术应用研究。

E-mail: 531996858@qq.com。

nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2005, 111 (1/2/3/4): 70-80.

[7]郭世荣.无土栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:90-111.

[8]李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:164-261.

[9]马富举,李丹丹,蔡剑,等.干旱胁迫对小麦幼苗根系生长和叶片光合作用的影响[J].应用生态学报,2012,23(3):724-730.

[10]沈玉芳,李世清,邵明安.水肥空间组合对冬小麦光合特性及产量的影响[J].应用生态学报,2007,18(10):2256-2262.

[11]张国红,睦晓蕾,郭英华,等.施肥水平对日光温室番茄光合生理的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):317-321.

[12]王英宇,杨建,韩烈保.不同灌溉量对草坪草光合作用的影响[J].北京林业大学学报,2006(增刊1):26-31.

[13]王翠玲.水肥耦合对草莓生长、产量品质及水肥利用效率的影响[D].泰安:山东农业大学,2010.

[14]韦泽秀,梁银丽,周茂娟,等.水肥组合对日光温室黄瓜叶片生长和产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(3):69-74.

[15]刘炼红,莫言玲,杨小振,等.调亏灌溉合理滴灌频率提高大棚

西瓜产量及品质[J].农业工程学报,2014,30(24):95-104.

[16]闵炬,施卫明.不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):151-157.

[17]张国红,袁丽萍,郭英华,等.不同施肥水平对日光温室番茄生长发育的影响[J].农业工程学报,2005,21(增刊2):151-154.

[18]付秋实,李红岭,崔健,等.水分胁迫对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J].中国农业科学,2009,42(5):1859-1866.

[19]王殿武,刘树庆,文宏达,等.高寒半干旱区春小麦田施肥及水肥耦合效应研究[J].中国农业科学,1999,32(5):62-68.

[20]林多,黄丹枫,杨延杰,等.营养液浓度对基质栽培网纹甜瓜生长和品质的影响[J].华北农学报,2007,22(2):184-186.

[21]杜建军,李生秀,高亚军,等.氮肥对冬小麦抗旱适应性及水分利用的影响[J].西北农业大学学报,1999,27(5):1-5.

[22]王峰,杜太生,邱让建,等.亏缺灌溉对温室番茄产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2010,26(9):46-52.

[23]Li Y J, Yuan B Z, Bie Z L, et al. Effect of drip irrigation criteria on yield and quality of muskmelon grown in greenhouse conditions[J]. Agricultural Water Management, 2012, 109(9): 30-35.